



REC'D 24 SEP 2004

WIPO

PCT

**Prioritätsbescheinigung über die Einreichung  
einer Patentanmeldung**

**Aktenzeichen:** 103 45 729.1

**Anmeldetag:** 1. Oktober 2003

**Anmelder/Inhaber:** Robert Bosch GmbH, 70442 Stuttgart/DE

**Bezeichnung:** Verfahren und Schaltungsanordnung zur Bestimmung eines Gütermaßes von Phasensignalen

**IPC:** G 01 B, G 01 P, G 01 D

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 13. September 2004  
**Deutsches Patent- und Markenamt**  
**Der Präsident**  
Im Auftrag

Ebert

**PRIORITY  
DOCUMENT**

SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)

R. 306035

Verfahren und Schaltungsanordnung zur Bestimmung eines  
Gütemaßes von Phasensignalen

Stand der Technik

Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Schaltungsanordnung zur Bestimmung eines Gütemaßes von Phasensignalen, insbesondere bei der Erfassung einer Bewegung oder eines Drehwinkels oder eines Drehmoments an Achsen oder Wellen, nach dem Oberbegriff des Hauptanspruchs.

Beispielsweise müssen zur Erfassung des auf eine Lenkradachse eines Kraftfahrzeuges wirkenden Drehmomentes während der Drehung des Lenkrades sehr kleine Winkeländerungen in beiden Drehrichtungen des Lenkrades gemessen werden. Hierbei sind Inkrementalwinkelgeber anwendbar, die einer Winkelstellung aufgrund der Auswertung von optisch, magnetisch oder sonst wie durch die Drehung erzeugten und mit geeigneten Mitteln detektierten Signalen einen Phasemesswert zuordnen. Zur Vergrößerung des Eindeutigkeitsbereichs ist es möglich, wenigstens einen weiteren Messkanal mit einer anderen Phasensteigung einzusehen. Es treten hier also mehrere Phasenmesswerte auf. treten, aus denen die zu messende Größe, wie z.B. der Drehwinkel, ei-

ne Winkeldifferenz oder der Abstand zu einem Ziel, zu bestimmen ist.

Zur Auswertung solcher Phasenmesswerte wird im Fall von mehr als zwei Phasensignalen beispielsweise ein in der DE 101 42 449 A1 beschriebenes Verfahren vorgeschlagen. Dort werden aus einer Anzahl  $N$  von mehrdeutigen, gestörten Phasensignalen ein hochgenauer, robuster und eindeutiger Phasen- oder Winkelmesswert erzeugt. Dazu werden die gemessenen Phasenwerte u.a. mittels eines linearen Transformationsverfahren rechnerisch umgeformt und mit einer vorgegebenen Gewichtung ausgewertet.

Das Verfahren findet Anwendung z.B. bei einem optischen Winkelsensor, bei dem  $N$  parallele Spuren auf einem Zylinder aufgebracht sind. Auf jeder der  $N$  Spuren ( $i=1\dots N$ ) befinden sich  $n_i$  Perioden einer Phaseninformation, die z.B. im optischen Fall durch  $n_i$  Perioden von Hell-Dunkelübergängen repräsentiert wird. Andere Sensorprinzipien, z.B. magnetisch oder kapazitiv, sind hier auch möglich. Auch können die Spuren des Sensors statt auf einem Zylinder auf einer Ebene aufgebracht sein, beispielsweise bei einem Wegsensor.

Bekannt ist außerdem aus der DE 195 06 938 A1, dass die Phasensignale durch die einfache oder auch mehrfache Anwendung eines klassischen oder modifizierten Noniusverfahrens ausgewertet werden können.

Weiterhin ist zur Ermittlung einer Winkeldifferenz aus der DE 101 42 448 A1 ebenfalls bekannt, dass die Phasenmesswerte gewichtet aufsummiert und daraus dann der ganzzahlige und nichtganzzahlige Anteil ermittelt wird. Der nichtganzzahlige Anteil ist proportional der Winkeldifferenz zwischen zwei Spurengruppen eines Inkrementalwertgebers an einer Welle, so dass sich durch Multiplikation mit der Federrate eines zwischen die Spurengruppen ge-

schalteten Torsionsstabes das Drehmoment an der Welle bestimmen lässt.

Aus der DE 100 34 733 A1 ist darüber hinaus für sich gesehen bekannt, dass in einer Initialisierungsphase ein vorgegebener Offsetwert zum Phasenmesswert addiert wird und daraus wiederum eine Anpassung des Offsetwertes erfolgt. Ein iteratives Näherungsverfahren zum Offsetabgleich zweier orthogonaler Sensorsignale ist für sich gesehen noch aus der DE 199 15 968 A1 bekannt.

Das gattungsgemäße Verfahren kann beispielsweise mit einer entsprechenden Sensoranordnung, wie in der zuvor erwähnten DE 101 42 448 A1 beschrieben, an der Lenkwelle eines Fahrzeugs als sogenannter Torque-Angle-Sensor (TAS) eingesetzt werden, bei dem gleichzeitig der Lenkwinkel und das Lenkmoment ausgegeben werden soll.

#### Vorteile der Erfindung

Mit dem eingangs erwähnten gattungsgemäßen Verfahren zur Erfassung beispielsweise des Drehwinkels- und/oder des Drehmoments an rotierenden mechanischen Bauteilen, können Phasenmesswerte durch Abtasten von mindestens einem Phasengeber am rotierenden Bauteil mittels eines jeweils zugeordneten Sensors ausgewertet werden. Erfindungsgemäß wird eine Bestimmung eines Gütemaßes für die Phasensignale in vorteilhafter Weise dadurch durchgeführt, dass nach einer Transformation der Phasenmesswerte mit einer vorgegebenen Matrix ein Vektor und das Ergebnis einer Quantisierungsoperation bezüglich des Vektors erzeugt wird und dann aus der Differenz aus dem Vektor und dem Ergebnis der Quantisierungsoperation nach einer Transformation mit einer weiteren Matrix ein weiterer Vektor erzeugt wird. Aus den

Komponenten des weiteren Vektors wird dann das betragsmäßige Minimum gebildet und hieraus das Gütemaß abgeleitet.

In besonders vorteilhafter Weise kann das Gütemaß nach folgender Beziehung ermittelt werden:

$$R \cdot e_{\max} = \min_{j=1, \dots, nx} \|D_j \pm x_j \cdot C_j\|$$

wobei die Größen  $C_j$  und  $D_j$  Koeffizienten darstellen, die aus den Phasensignalen herleitbar sind. Die Beaufschlagung mit den Koeffizienten  $C_j$  und  $D_j$  und die Transformation des Vektors mit der weiteren Matrix kann dabei auch auf einfache Weise in einem Verfahrensschritt zusammengefasst werden.

Das erfindungsgemäße Verfahren kann in vorteilhafter Weise mit einer Schaltungsanordnung realisiert werden, die aus einer elektronischen Schaltung gebildet ist und ein Linear Mapping Module zur Verarbeitung der Phasensignale und ein Quantisierungsmodul aufweist. Mit einem weiteren Linear Mapping Module kann aus der Differenz aus dem Vektor am Ausgang des ersten Linear Mapping Moduls und dem Ergebnis der Quantisierungsoperation am Ausgang des Quantisierungsmoduls der weitere Vektor erzeugt werden, der in weiteren Bausteinen mit den Koeffizienten beaufschlagbar ist.

Mit dem erfindungsgemäßen Verfahren und der Schaltungsanordnung kann somit in vorteilhafter Weise ein skalares Gütemaß zur Beurteilung des Zusammenhangs zwischen den einzelnen Phasenmesswerten bestimmt werden. Mit Hilfe dieses Maßes wird es dann möglich, Störungen und Fehlmessungen des Sensorsystems zu erkennen. Die Erfindung ermöglicht somit die Überwachung des gesamten Sensorsystems, da bisher eine solche Beurteilung des Gesamtsystems nicht möglich war. Beispielsweise bewirkt eine Schiefelage des Sensorkopfes gegenüber den Sensorspuren aufgrund eines sogenannten Tiltwinkels eine deutliche Reduktion des

Gütemaßes. Weiterhin ist mit der Erfindung ein Verfahren und eine Schaltungsanordnung zur Bestimmung des Gütemaßes mit geringem Aufwand an Soft- und/oder Hardware in einer elektronischen Schaltung geschaffen, da für die Berechnung des Gütemaßes die Berechnung der absoluten Winkelwerte zunächst nicht benötigt wird.

### Zeichnung

Ein Ausführungsbeispiel einer Schaltungsanordnung zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens wird anhand der Zeichnung erläutert. Es zeigen:

Figur 1 eine schematische Ansicht einer Schaltungsanordnung zur Erfassung des Drehwinkels einer Achse oder Welle durch Auswertung von Phasensignalen sowie die Anordnung zur Bestimmung des Gütemaßes und

Figur 2 eine Darstellung der Phasensignale nach einer Transformation und Quantisierung in einen zweidimensionalen Raum.

### Beschreibung des Ausführungsbeispiels

In Figur 1 ist ein Blockschaltbild einer Schaltungsanordnung zur Erfassung des Drehwinkels einer Achse oder Welle durch Auswertung von Phasensignalen  $\alpha$  gezeigt, die beispielsweise an einer Achse eines rotierenden Bauelements abgenommen werden, deren Drehwinkel  $\Phi$  und deren Winkel-differenz mit einer entsprechenden Sensoranordnung ermittelbar ist. Eine solche Anordnung ist prinzipiell aus der in der Beschreibungseinleitung als Stand der Technik er-

wähnten DE 101 42 448 A1 bekannt. Aus der ebenfalls in der Beschreibungseinleitung erwähnten DE 101 42 449 A1 ist bekannt, das für Phasensignale  $\alpha_i$  im Fall eines Winkelsensors mit N Phasensignalen die folgende Gleichung gilt:

$$\begin{pmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \\ a_N \end{pmatrix} = \text{mod}_{2\pi} \left[ \Phi \cdot \begin{pmatrix} n_1 \\ n_2 \\ n_3 \\ n_N \end{pmatrix} \right] \quad (1)$$

Die Größe  $\Phi$  ist hier der in der Messaufgabe gesuchte absolute Winkel, wobei die gleichen Beziehungen auch für einen linearen Wegsensor gelten. Hierbei werden ideale Messwerte vorausgesetzt, d.h. es sind prinzipiell keine Messfehler vorhanden. Die Beschreibung des erfindungsgemäßen Verfahrens erfolgt anschließend anhand einer vierdimensionalen Phasenauswertung (N=4) der Signale von optischen Signalgebern. Hieraus kann dann mittels der weiteren Bausteine die Winkelstellung  $\Phi_m$  und ggf. das Drehmoment der Welle oder Achse ermittelt werden.

Im einzelnen ist hier nach der Figur 1 ein Linear Mapping Module M1 zur Transformation der Phasensignale  $\underline{\alpha}$  mit einer Matrix  $\underline{M}_1$  in einen Vektor  $\underline{T}$  und ein Quantisierungsmodul V zur Erzeugung einer Quantisierungsoperation  $\underline{V}$  vorhanden. Darauf folgt ein weiteres Linear Mapping Module M3 zur Transformation mit einer Matrix  $\underline{M}_3$  und es folgt eine ebenfalls aus dem Stand der Technik bekannte Operation mit einem  $\text{mod } 2^{16}$  Baustein unter Berücksichtigung des Ausgangssignals eines Gewichtungsbausteins W für die Phasensignale  $\underline{\alpha}$  um die Winkelstellung  $\Phi$  zu erhalten.

Ausgangspunkt zur Berechnung des erfindungsgemäßen Gütemaßes R sind die Phasenwerte selbst oder eine Ermittlung nach der untenstehenden Gleichung (2) aus der Differenz  $\underline{t}$

zwischen den Vektoren  $\underline{T}$  und  $\underline{V}$ , die als Zwischenwerte der mehrdimensionalen Phasenauswertung nach dem Stand der Technik DE 101 42 449 A1 bei den hier üblichen Schaltungsanordnungen prinzipiell zur Verfügung stehen.

$$\underline{t} = \underline{T} - \underline{V} = \underline{T} - \text{quant}(\underline{T}) \quad (2)$$

Diese  $N-1$  dimensionale Differenz  $\underline{t}$  wird mit Hilfe einer Matrix  $M_4$  nach der Figur 1 in einem Linear Mapping Module  $M_4$  in einen Vektor  $\underline{X}$  abgebildet:

$$\underline{X} = \underline{M}_4 \cdot \underline{t} \quad (3)$$

Die Matrix  $M_4$  besteht aus

$$n_x = \left( \frac{N}{N-2} \right) = \frac{N!}{2 \cdot (N-2)!} \quad (4)$$

Zeilen. Anschließend werden die Komponenten  $x_j$  des Vektors  $\underline{X}$  in einem Baustein C mit Koeffizienten  $C_j$  multipliziert. Zu dem Ergebnis werden dann weitere  $n_x$  Koeffizienten  $D_j$  addiert bzw. subtrahiert. Von den so erhaltenen  $2n_x$  Werten wird dann in einem Baustein R das betragsmäßige Minimum gebildet. Dieses Minimum hat den Wert

$$R \cdot e_{\max} = \min_{j=1 \dots n_x} \|D_j \pm x_j \cdot C_j\| \quad (5)$$

Der Wert  $e_{\max}$  ist der gleichzeitig in allen  $N$  Phasenwerten zulässige Fehler;  $e_{\max}$  ist von der Dimension und der speziellen Wahl der Periodenzahlen  $n_j$  abhängig. Der Berechnungsablauf für die zuvor erwähnten Größen kann beispielsweise für  $N=4$  Dimensionen dem in der Figur 1 dargestellten Signalflussgraphen prinzipiell entnommen werden. Die Schaltungsanordnung für andere Dimensionen  $N$  ist



grundsätzlich identisch, lediglich die angegebene Anzahl an Signalleitungen ändert sich.

Bei einem Zahlenbeispiel mit  $N = 3$  Phasensignalen werden z.B. folgende Werte angenommen:  $n_1=3$ ,  $n_2=4$ , und  $n_3=5$ . Ausgangspunkt sind die Werte nach der Gleichung (2). Die Matrizen  $\underline{M}_1$  und  $\underline{M}_4$  lauten in diesem Fall:

$$\underline{M}_1 = \begin{pmatrix} 1 & -2 & 1 \\ -1 & -1 & 2 \end{pmatrix} \quad \underline{M}_4 = \begin{pmatrix} -2 & 1 \\ -1 & 2 \\ 2 & 1 \end{pmatrix}$$

und die Koeffizienten  $C_j$  bzw.  $D_j$  mit jeweils  $j = 1 \dots 3$  haben dann die Werte:

$$C_1 = \frac{1}{7}, \quad C_2 = \frac{1}{8}, \quad C_3 = \frac{1}{9}, \quad D_1 = \frac{1}{7}, \quad D_2 = \frac{1}{8}, \quad D_3 = \frac{1}{6}$$

Für ideale Phasensignale nach der Gleichung (1) gilt somit  $R = 1$  und

$$R \cdot e_{\max} = 45^\circ$$

Werden beispielsweise alle Phasensignale  $\alpha_i$  als inverses Muster um  $180^\circ$  verschoben, so ergibt sich eine Gütemaß von  $R = 0$ .

Das mit der zuvor beschriebenen Methode berechnete Gütemaß  $R$  gibt an, wieviel Rauschen bzw. welcher Messfehler ausgehend vom aktuellen Phasenmesswert noch zugelassen werden kann, damit die gewünschte Funktionalität garantiert werden kann. In Figur 2 sind bei einem Beispiel von  $N = 3$  Dimensionen nach einer Transformation in einen zweidimensionalen  $t$ -Raum die Bereichsgrenzen BG für die Phasenmesswerte im  $t$ -Raum als Vektoren  $\underline{t}$  aufgezeigt. Die

möglichen Orte des Rauschens für ein korrektes Ergebnis sind hier mit dem Bereich RB eingegrenzt.

Das Rauschen wird hierbei typischerweise auf den Wert  $e_{\max}$  bezogen. Das heißt, bei idealen Phasenwerten nach der Beziehung (1) gilt  $R = 1$  und der aktuelle Messwert liegt somit im Ausgangspunkt des Vektors  $\underline{t}$ . Liegt der aktuelle Messwert genau auf einer Bereichsgrenze BG der Quantisierungseinheit  $V$  nach der Figur 1 so nimmt das Gütemaß  $R$  seinen Minimalwert  $R = 0$  an.

R. 306035

### Patentansprüche

1) Verfahren zur Auswertung von Phasensignalen zur Ermittlung eines Winkels oder Weges an einem linear oder rotatorisch bewegten Bauteil, bei dem

- eine Anzahl (N) Phasenmesswerte ( $\alpha$ ) ausgewertet werden, die durch Abtasten von mindestens einer Phasengeberanordnung am linear oder rotatorisch bewegten Bauteil mittels eines jeweils zugeordneten Sensors erzeugt werden und bei dem
- die Phasenmesswerte ( $\alpha$ ) mittels einer linearen Transformation rechnerisch in einen neuen Bereich transformiert werden, dadurch gekennzeichnet, dass
- eine Bestimmung eines Gütemaßes (R) dadurch erfolgt, dass nach einer Transformation der Phasenmesswerte ( $\alpha$ ) mit einer Matrix ( $M_1$ ) ein Vektor ( $\underline{T}$ ) und daran anschließend das Ergebnis einer Quantisierungsoperation ( $\underline{V}$ ) bezüglich des Vektors ( $\underline{T}$ ) erzeugt wird, dass
- aus der Differenz ( $\underline{t}$ ) aus dem Vektor ( $\underline{T}$ ) und dem Ergebnis der Quantisierungsoperation ( $\underline{V}$ ) nach einer Transformation mit einer weiteren Matrix ( $M_2$ ) ein weiterer Vektor ( $\underline{X}$ ) erzeugt wird und dass
- aus den Komponenten ( $x_j$ ) des weiteren Vektors ( $\underline{X}$ ) das betragsmäßige Minimum gebildet und hieraus das Gütemaß (R) abgeleitet wird.

2) Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass

- das Gütemaß (R) nach folgender Beziehung ermittelt wird:

$$R \cdot e_{\max} = \min_{j=1, \dots, n} \|D_j \pm x_j \cdot C_j\|,$$

- wobei die Größen ( $C_j$ ) und ( $D_j$ ) Koeffizienten darstellen, die aus den Phasensignalen herleitbar sind.

3) Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass

- die Beaufschlagung mit den Koeffizienten ( $C_j$ ) und ( $D_j$ ) und die Transformation des Vektors ( $\underline{X}$ ) mit der weiteren Matrix ( $\underline{M}_4$ ) in einem Verfahrensschritt zusammengefasst sind.

4) Schaltungsanordnung zur Durchführung eines Verfahrens nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass

- eine elektronischen Schaltung mit einem Linear Mapping Module ( $M_1$ ) zur Verarbeitung der Phasensignale ( $\alpha$ ) mit einer Matrix ( $\underline{M}_1$ ) und mit einem Quantisierungsmodul ( $V$ ) versehen ist und dass
- mit einem Linear Mapping Module ( $M_4$ ) aus der Differenz ( $\underline{t}$ ) aus dem Vektor ( $\underline{T}$ ) am Ausgang des Linear Mapping Moduls ( $M_1$ ) und dem Ergebnis der Quantisierungsoperation ( $\underline{V}$ ) am Ausgang des Quantisierungsmoduls ( $V$ ) der weitere Vektor ( $\underline{X}$ ) erzeugbar ist, der in weiteren Bausteinen ( $C, D$ ) mit den Koeffizienten ( $C_j$ ) und ( $D_j$ ) beaufschlagbar ist.

R. 306035

### Zusammenfassung

Es wird ein Verfahren und eine Schaltungsanordnung zur Auswertung von Phasensignalen zur Ermittlung eines Winkels oder Weges an einem linear oder rotatorisch bewegten Bauteil vorgeschlagen, bei dem eine Anzahl ( $N$ ) Phasenmesswerte ( $\alpha$ ) ausgewertet werden, die durch Abtasten von mindestens einer Phasengeberanordnung am linear oder rotatorisch bewegten Bauteil mittels eines jeweils zugeordneten Sensors erzeugt werden. Eine Bestimmung eines Gütemaßes ( $R$ ) erfolgt dadurch, dass nach einer Transformation der Phasenmesswerte ( $\alpha$ ) mit einer Matrix ( $\underline{M}_1$ ) ein Vektor ( $\underline{T}$ ) und daran anschließend das Ergebnis einer Quantisierungsoperation ( $\underline{V}$ ) bezüglich des Vektors ( $\underline{T}$ ) erzeugt wird. Aus der Differenz ( $\underline{t}$ ) aus dem Vektor ( $\underline{T}$ ) und dem Ergebnis der Quantisierungsoperation ( $\underline{V}$ ) wird nach einer Transformation mit einer weiteren Matrix ( $\underline{M}_2$ ) ein weiterer Vektor ( $\underline{X}$ ) erzeugt, dessen Komponenten ( $x_j$ ) mit Koeffizienten ( $C_j$ ) und ( $D_j$ ) beaufschlagt und daraus wird das Gütemaß ( $R$ ) abgeleitet.

(Figur 1)



**Fig.2**